مدل عددی جهت تعیین رژیم وتوان جزر و مد*

محمد اکبری نسب[۱] محمدجواد کتابداری[۲]

چکیده *در این تحقیق، مدلی عددی تهیه شده است که توسط آن می‌توان رژیم جزر و مد در منطقه‌ای دلخواه از آب‌های دریاها را تشخیص و سپس توان آن را محاسبه کرد. روش کار در برنامه‌ی تهیه شده، بدین ترتیب است که ابتدا با استفاده از داده‌های ثبت شده‌ی تراز آب برای مدت مشخص به روش آنالیز کم‌ترین مربعات و فیلتر FIR پایین گذر با فرکانس قطع مناسب، مؤلفه ها و فازهای اصلی جزر و مد محاسبه می‌شوند. سپس با استفاده از دامنه مؤلفه‌های محاسبه شده، عدد کشند منطقه به دست می‌آید. در نتیجه، نوع کشند منطقه شناسایی شده و با شناسایی مؤلفه‌ی موثرتر و با داشتن پریود نجومی این مؤلفه، شتاب جاذبه‌ای زمین و چگالی آب، توان جزر و مد منطقه، محاسبه می‌گردد. در یک مطالعه‌ی موردی، اطلاعات تراز سطح آب خلیج فارس در سواحل بندرعباس برای مدت ۲۹ روز برداشت گردید. سپس به کمک مدل توان جزر و مد منطقه محاسبه گردید. با توجه به این توان، می‌توان نصب دستگاه‌های جاذب جزر و مد برای استحصال انرژی را در ناحیه از نظر اقتصادی مد نظر قرار داد.*

واژه‌های کلیدی مدل عددی، رژیم جزر و مد، عدد کشند، آنالیز حداقل مربعات، فیلترFIR .

A Computer Model to Determine Regime and Power of Tides

M. Akbarinasab M. J. Ketabdari

Abstract *In this study a numerical model was developed to determine the tidal regime and its power in any location of the seas and the oceans. The methodology employed is firstly to use the measured water level data for a limited period and then to use the least square method and low pass FIR filter with a suitable cut frequency, to calculate components and phases of tides. Next by using the calculated amplitudes of tidal components the tide form number of the study area is calculated. In this way the type of tide of the area and its efficient component and astronomical period is determined. Finally using these information as well as gravity acceleration and water density the tidal power is estimated. In a case study the change of water level was measured in Bandar Abbas Coast of Persian Gulf for 29 days. Then using the developed model the tidal power in the study area was estimated. Considering this power it can be decided if devices for absorbing tidal energy can be economical to install in this area.*

Key Words Numerical Model, Tidal Regime, Tide Form Number, Least Square Analysis, FIR Filter.

* نسخه‌ی اول مقاله در تاریخ ۸٦/٧/١٤ و نسخه‌ی نهایی آن در تاریخ ۸۹/۹/١٦ به دفتر نشریه رسیده است.

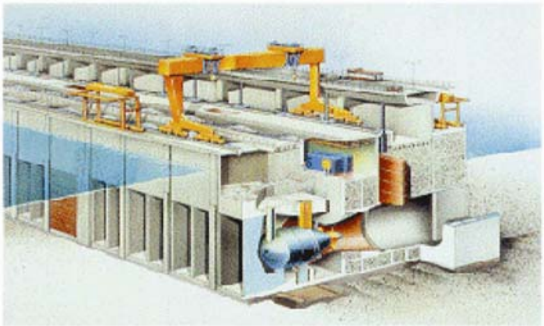
(۱) نویسنده مسؤول: کارشناس ارشد فیزیک دریا، پژوهشکده‌ی هیدروفیزیک شیراز

(۲) دانشیار، دانشکده‌ی مهندسی دریا، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

مقدمه

با افزایش جمعیت کره‌ی زمین، نیاز به انرژی بیشتر از یک طرف و آلودگی و مشکلات استفاده از سوخت‌های فسیلی و محدودیت این منابع از طرف دیگر، باعث گردیده است که توجه بشر به استفاده از سوخت‌های غیر فسیلی معطوف گردد. انرژی جزر و مد، یکی از این نوع انرژی‌هاست که بر خلاف انرژی حاصل از سوخت‌های فسیلی مانند نفت و زغال‌سنگ، قابل تجدید و لایزال بوده و آلودگی زیست محیطی هم به همراه ندارد. پدیده‌ی جزر و مد، تغییر شکل الاستیک کره‌ی زمین است که از جاذبه‌ی متقابل ماه و خورشید با زمین ایجاد می‌گردد و رابطه‌ی تنگاتنگی با ژئوفیزیک، ژئودزی و علم نجوم دارد. امروزه در مطالعات دریایی، آب شستگی سواحل، طراحی سازه‌های حفاظت ساحلی در مقابل هجوم امواج، بررسی تغییرات جزر و مد که پارامتر عمده‌ی نوسانات سطح آب دریاست و بررسی پتانسیل قابل دسترس جزر و مد، اهمیت زیادی دارد. استفاده از انرژی جزر و مد در مقیاس کوچک، تاریخچه‌ای طولانی دارد و نمونه‌ی آن، آسیاب‌های جزر و مدی است که از قرن‌ها پیش در برخی از کشورها مورد استفاده قرار می‌گرفته است. نیروگاه جزر و مدی فرانسوی لارنس با ظرفیت ۲٤۰ مگا وات که در سال ۱۹٦٦ به بهره برداری رسید، اولین و مدرنترین نیروگاه جزر و مدی است که در استحصال این نوع انرژی می‌باشد. اساس نیروگاه‌های جزر و مدی بدین صورت است که وقتی آب بالا می‌آید، یک جریان آبی از یک طرف به سمت دیگر هجوم می‌آورد؛ در صورتی که آب سرازیر شده توسط مانعی حبس شود، هنگام فروکش کردن آب در زمان جزر، آب ذخیره شده از درون چرخ‌های آبی خاصی به سمت سطوح پایین‌تر جریان می‌یابد. در هنگام آزاد کردن آب از سطوح بالاتر به سطوح پایین‌تر، توربین‌ها به حرکت درآمده و به دنبال آن، ژانراتورها الکتریسته تولید می‌کنند.

دو روش برای استخراج انرژی الکتریکی از نیروگاه آب وجود دارد. این دو روش عبارتند از: نیروگاه‌های سدهای سیلابی و نیروگاه‌های سدهای دو جهته. شکل (۱) نمونه‌ای از چنین تجهیزاتی را نشان می‌دهد[1].



شکل ۱ دستگاه جذب انرژی جزر و مد

تعیین مؤلفه‌های اصلی جزر و مد

آنالیز هارمونیکی، روش بسیار مفیدی برای تجزیه و تحلیل و پیش‌بینی ارتفاع و جریان‌های جزر و مدی است. به نظر می‌رسد به‌کارگیری این روش، اولین بار در سال ۱۸٦۷ توسط لردکلوین صورت گرفته باشد. وی اولین ماشین پیش‌بینی کننده‌ی جزر و مد را اختراع نمود. مراحل انجام آنالیز هارمونیکی جزر و مد عبارتند از:

الف) تقریب فوریه‌ی یک سری زمانی حاصل ثبت شده.

ب) انتخاب مؤلفه‌هایی که در آنالیز هارمونیکی، قابل جداسازی هستند.

ج) به کار بردن روش‌های آنالیز هارمونیکی، شامل روش نیمه گرافیکی و روش آنالیز کم‌ترین مربعات.

از اوایل دهه‌ی هفتاد با توسعه‌ی این روش، تحول شگرفی در آنالیز هارمونیک جزر و مد ایجاد شد [2]. Lowson و Hanson به صورت کاملی این روش را شرح و گسترش دادند. آنها برای حل معادلات از روش پیراسته‌ی (Gram Schmit) استفاده کردند. (Goodin) ضمن گسترش نتایج محققین قبلی از نتایج آنها در مبحث جزر و مد استفاده کرد[3]. (Foreman) با استفاده از تحقیقات (Goodin)، نرم افزاری برای پردازش جزر و مد، ارائه کرد [4]. هرگاه h، یک سری

زمانی حاصل از اندازه‌گیری تغییر تراز آب در اثر جزر و مد باشد، آن‌گاه به دلیل ماهیت تناوبی جزر و مد، این سری زمانی را می‌توان توسط تقریب فوریه‌ی زیر تعریف نمود:

$$h(t_n)=h_0+\sum_{q=1}^{k}\left[A_q \mathrm{Cos}(\omega_q t_n)+ B_q \mathrm{Sin}(\omega_q t_n)\right]+h_r(t_n) \qquad (۱)$$

که در آن $h(t_n)$؛ ارتفاع آب در لحظه‌ی t_n ، h_0؛ مقدار متوسط سری زمانی (ارتفاع آب) و $q=1,2,3,...,k$ تعداد مؤلفه‌ها، A_q , B_q؛ دامنه‌های جملات کسینوس و سینوس، w_q؛ سرعت زاویه‌ای مؤلفهٔ q ام، $n=1,2,3,...$؛ تعداد دفعات نمونه‌برداری و $h_r(t_n)$؛ سهم ناشی از سایر پدیده‌های غیر جزر و مدی در زمان خاص t_n است. در انتخاب مؤلفه‌ها به عنوان مؤلفه‌های مرجع و یا به عنوان مؤلفه‌های مرجع مجاور، دوعامل در نظر گرفته می‌شود:

الف) اهمیت نسبی (شدت نسبی) مؤلفه ها در ایجاد پتانسیل‌های جزر و مدی.

ب) طول مدت اندازه گیری.

در جدول (۱)، شدت نسبی برخی از مؤلفه‌ها براساس نظریهٔ جزر و مد تعادلی درج شده‌اند.

جدول ۱ اهمیت نسبی چهار مولفه مهم جزر و مد

منشاء	قدرت نسبی	پریود (ساعت)	علامت اختصاری
عمدتاً قمری، نیم روزه	۱۰۰	۱۲/۴۲	M2
عمدتاًخورشیدی، نیم روزه	٤٦/٦	۱۲/۰۰	S2
قمری-خورشیدی، روزانه	٥۸/٤	۲۳/۹۳	K1
عمدتا قمری، روزانه	٤۱/٥	۲٥/۸۲	O1

از آن جا که جزر و مد M2 از سایر مؤلفه ها به مراتب شدیدتر است، لذا در جدول (۱) مقدار این مؤلفه برابر ۱۰۰ و شدت نسبی سایر مؤلفه ها نسبت به آن سنجیده شده است. در معادله‌ی ۱، ضرایب مجهول A_q , B_q با استفاده از روش حداقل مربعات به گونه‌ای به دست می‌آیند که مربع جمله‌ی $h_r(t_n)$ در حداقل مقدار ممکن باقی بماند. بنابراین می‌توان نوشت:

$$h_r^2(t_n)=\left[h(t_n)-\left[h_0+\sum_{q=1}^{k} H_q(t_n)\right]\right]^2 \qquad (۲)$$

که در آن :

$$H_q(t_n)=\left[A_q \mathrm{Cos}(\omega_q t)+B_q \mathrm{Sin}(\omega_q t)\right] \qquad (۳)$$

از آن جا که معادله‌ی ۲ باید در طول مدت سری زمانی برقرار باشد، خواهیم داشت:

$$h_r^2=\sum_{n=1}^{N} h_r^2(t_n)= \sum_{n=1}^{N}\left[h(t_n)-\left[h_0+\sum_{q=1}^{k} H_q(t_n)\right]\right]^2 \qquad (٤)$$

حال با مشتق‌گیری از معادله‌ی ٤، نسبت به ضرایب مجهول h_0 , A_q , B_q و سپس مساوی صفر قراردادن نتایج با توجه به این که $B_0=0$، تعداد (2k+1) معادله و به همان تعداد مجهول به دست می‌آید :

$$\frac{\partial h_r^2}{\partial A_q}=0=2\sum_{n=1}^{N}\left(\left[h(t_n)-\left[h_0+\sum_{q=1}^{k} H_q(t_n)\right]\right]\left[-\mathrm{Cos}(\omega_q t_n)\right]\right) \qquad (٥)$$

$$\frac{\partial h_r^2}{\partial B_q}=0=2\sum_{n=1}^{N}\left(\left[h(t_n)-\left[h_0+\sum_{q=1}^{k} H_q(t_n)\right]\right]\left[-\mathrm{Sin}(\omega_q t_n)\right]\right)_{q=1,2,....,k} \qquad (٦)$$

حل این دستگاه معادلات از طریق حل معادله‌ی ماتریسی به صورت: DZ=y میسر است که در آن D، یک ماتریس مربعی به ابعاد (2k+1) شامل جملات مجموع سینوس و کسینوس، و y؛ یک بردار (ماتریس

ستونی) شامل جمع بر روی داده‌های سری زمانی و Z؛ یک ماتریس ستونی شامل ضرایب مجهول A_q , B_q است. در عمل، می‌بایست این دستگاه معادلات را به شکل $Z=D^{-1}y$ به کاربرد که در آن D^{-1}؛ ماتریس معکوس ماتریس زیر است :

$$D=\begin{vmatrix} N & C_1 & C_2 & \dots & C_k & S_1 & S_2 & \dots & S_k \\ C_1 & CC_{11} & CC_{12} & \dots & CC_{1k} & CS_{11} & CS_{12} & \dots & CS_{1k} \\ C_2 & CC_{21} & CC_{22} & \dots & CC_{2k} & CS_{21} & CS_{22} & \dots & CS_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ C_k & CC_{k1} & CC_{k2} & \dots & CC_{kk} & CS_{k1} & CS_{k2} & \dots & CS_{kk} \\ S_1 & SC_{11} & SC_{12} & \dots & SC_{1k} & SS_{11} & SS_{12} & \dots & SS_{1k} \\ S_2 & SC_{21} & SC_{22} & \dots & SC_{2k} & SS_{21} & SS_{22} & \dots & SS_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ S_k & SC_{k1} & SC_{k2} & \dots & SC_{kk} & SC_{k1} & SS_{k2} & \dots & SS_{kk} \end{vmatrix} \quad (۷)$$

و y و z؛ بردارهای ستونی زیر هستند :

$$y=\begin{vmatrix} yc_0 \\ yc_1 \\ yc_2 \\ \dots \\ y_{ck} \\ ys_1 \\ ys_2 \\ \dots \\ ys_k \end{vmatrix} \quad , \quad z=\begin{vmatrix} A_0 \\ A_1 \\ A_2 \\ \dots \\ A_k \\ B_1 \\ B_2 \\ \dots \\ B_k \end{vmatrix} \quad (۸)$$

در معادلات ۷ و ۸ با در نظر گرفتن $j=1,2,3,\dots,k$ ، عناصر ماتریس‌ها عبارتند از:

$$C_q=\sum_{n=1}^{N} Cos(\omega_q t_n) \ , \ S_q=\sum_{n=1}^{N} Sin(\omega_q t_n)$$

$$CC_{qj}=CC_{jq}=\sum_{n=1}^{N}\left[Cos(\omega_j t_n)Cos(\omega_q t_n)\right] \quad (۹)$$

$$SS_{qj}=SS_{jq}=\sum_{n=1}^{N}\left[Sin(\omega_j t_n)Sin(\omega_q t_n)\right]$$

$$CS_{qj}=SC_{jq}=\sum_{n=1}^{N}\left[Cos(\omega_q t_n)Sin(\omega_j t_n)\right] \quad (۱۰)$$

و عناصر ماتریس y عبارتند از :

$$yc_q=\sum_{n=1}^{N} h(t_n)Cos(\omega_q t_n)$$

$$ys_q=\sum_{n=1}^{N} h(t_n)Sin(\omega_q t_n) \quad (۱۱)$$

طبقه‌بندی جزر و مد و عدد کشندF

در برنامه‌ای که برای آنالیز جزر و مد تهیه شده، با استفاده از عدد شکل کشند F (Tide form number) می‌توان جزر و مد را طبقه بندی کرد. مؤلفه های روزانه در برخی مکان ها تشدید شده و غالب می‌شود. این در حالی است که در بیشتر مکان‌ها مؤلفه‌های نیم‌روزه غالب می‌گردد. کشندها بر اساس اهمیت نسبی چهار جزء اصلی عمده که عبارتند از: O1,K1,S2,M2 و با استفاده از عدد شکل کشند F، طبقه بندی می‌شوند به طوری که :

(۱۲)

در این رابطه، H؛ دامنه‌ی جزر و مد است که دو برابر آن ارتفاع یا محدوده‌ی جزر و مد می‌باشد. مقادیر H در جداول جزر و مدی مشخصی ارائه می‌شوند. بر اساس عدد فوق، چهار نوع کشند از یکدیگر تمیز داده می‌شوند:

کشند نیمروزه ($F \le 0.25$). در این نوع کشند، دو مد و دو جزر که ارتفاع هر دو در روز تقریباً یکسان هستند به وقوع پیوسته و مقادیر ذیل نیز تعریف می‌گردند:

میانگین مد مهکشند $MHWS \cong Z_0+[H_{M2}+H_{S2}]$

میانگین جزر مهکشند $MLWS \cong Z_0-[H_{M2}+H_{S2}]$

میانگین مد کهکشند $MHWN \cong Z_0+[H_{M2}-H_{S2}]$

میانگین جزر کهکشند $MLWN \cong Z_0-[H_{M2}-H_{S2}]$

بلندترین مد مهکشند

$HHWS \cong Z_0+[H_{M2}+H_{S2}]+[H_{K1}+H_{O1}]$

کوتاه ترین جزر مهکشند

$LLWS \cong Z_0 - [H_{M2} + H_{S2}] - [H_{K1} + H_{O1}]$

ارتفاع میانگین مهکشند

$MHWS - MLWS \cong 2[H_{M2} + H_{S2}]$

ارتفاع میانگین کهکشند

$MHWN - MLWN \cong 2[H_{M2} - H_{S2}]$

میانگین ارتفاع جزر ومد نرمال　$2H_{M2}$

حداکثر نابرابری روزانه

$HHWS - MHWS \cong [H_{K1} + H_{O1}]$

پریود کهکشند-مهکشند به روز　14.8

در این روابط، Z_0؛ فاصله‌ی سطح میانگین آب از سطح مبنا می‌باشد.

کشند ترکیبی نیم‌روزه (***0.25 < F < 1.5***). در این نوع کشند، دو مد و دو جزر در روز به وقوع می‌پیوند که از نظر ارتفاع و زمان نا برابری را نشان می‌دهند. مقدار ذیل نیز تعریف می‌شود:

میانگین دامنه‌ی مهکشند

$MHWS - MLWS \cong 2[H_{M2} + H_{S2}]$

کشند ترکیبی روزانه (1.5 < F < 3). در این نوع کشند، برخی اوقات یک مد و یک جزر در روز وگاهی دو مد در روز که نابرابری شدیدی را در ارتفاع و زمان نشان می‌دهند، به وقوع می‌پیوندد. مقادیر ذیل نیز تعریف می‌گردند:

میانگین دامنه‌ی مهکشند

$MHWS - MLWS \cong 2[H_{K1} + H_{O1}]$

کشند روزانه (F ≥ 3). در این نوع کشند، معمولاً یک مد و یک جزر در روز به وقوع می‌پیوند. به استثنای هنگام کهکشند که در آن صورت، ممکن است دو مد و دو جزر وجود داشته باشد. مقادیر ذیل تعریف می‌گردند:

میانگین مد مهکشند

$MHWS \cong Z_0 + [H_{K1} + H_{O1}]$

میانگین جزر مهکشند

$MLWS \cong Z_0 - [H_{K1} + H_{O1}]$

میانگین مد کهکشند $MHWN \cong Z_0 + [H_{K1} - H_{O1}]$

میانگین جزر کهکشند $MLWN \cong Z_0 - [H_{K1} - H_{O1}]$

بلندترین مد مهکشند

$HHWS \cong Z_0 + [H_{K1} + H_{O1}] + [H_{M2} + H_{S2}]$

کوتاه ترین جزر مهکشند

$LLWS \cong Z_0 - [H_{K1} + H_{O1}] - [H_{M2} + H_{S2}]$

ارتفاع میانگین مهکشند

$MHWS - MLWS \cong 2[H_{K1} + H_{O1}]$

ارتفاع میانگین کهکشند

$MHWN - MLWN \cong 2[H_{K1} - H_{O1}]$

میانگین ارتفاع جزر ومد نرمال　$2H_{K1}$

حداکثر نابرابری روزانه

$HHWS - MHWS \cong [H_{M2} + H_{S2}]$

پریود کهکشند- مهکشند به روز　13.7

روابط ارائه شده در فوق، امکان تخمین مشخصه‌های مختلف سطوح جزر و مدی و دامنه‌های آن‌ها را با احتساب چهار جزء اصلی عمده فراهم می‌کنند. با استفاده از عدد کشند که در خروجی برنامه‌ی آنالیز جزر و مد بیان شد، می‌توان به طبقه بندی جزر و مد دسترسی پیدا کرد.

فیلتر FIR(Finite Impulsive Response Filter) پایین گذر(Low Pass)

در این قسمت، فیلتر FIR پایین گذر که در این برنامه‌ی نرم افزاری مورد استفاده واقع شده، بررسی می‌گردد. این فیلترها در واقع همان فیلترهای دیجیتالی پاسخ ضربه ای محدود هستند[5]. فیلترهای FIR بر اساس سری‌های فوریه و تکنیک‌های آنالیز عددی کار کرده و پاسخ آن‌ها تنها به نمونه‌های ورودی حال و گذشته وابسته است. در این فیلترها داریم:

$$h_d(n) = \begin{cases} (\frac{2F_c}{F})\frac{\sin 2\pi n F_c/F}{2\pi n F_c/F} \rightarrow \text{for}(n>0) \\ \frac{2F_c}{F} \rightarrow \text{for}(n=0) \end{cases} \quad (۱۳)$$

کــه در آن $F_c = 0.5(F_p + F_s)$ و $\Delta F = F_s - F_p$ و F_p؛ فرکـانس بانـد گـذر، F_s؛ فرکـانس بانـد توقـف و F؛ فرکانس نمونه است [6].

محاسبه‌ی رژیم جزر و مدی

انرژی پتانسیل جزر و مد در حوضه‌ای به مساحت *S* از زمان مد که تراز آب در مخزن به بالاترین حد می‌رسد، تا زمان جزر کـه تـراز آب کـم‌تـرین مقـدار اسـت، از رابطه‌ی $S\int_0^{2H} \rho gzdz$ بـه دسـت مـی‌آیـد کـه در آن H؛ دامنه‌ی جزر و مد وابسته به عدد کشند، ρ؛ چگالی آب و g؛ شتاب ثقلی زمین است، از این رو، کل انرژی قابل دسترس در یک پریود جزر و مدی برابر بـا $4S\rho gH^2$ خواهد بود و نرخ میانگین توان انرژی برابـر اسـت بـا $4S\rho gH^2/T$ کـه T؛ پریـود جـزر و مـد مـی‌باشـد. چنانچه عدد کشند، کوچـک‌تـر از ۰/۲۵ باشـد، کشـند نیم‌روزه بوده، در نتیجه دامنـه‌ی جـزر و مـدی۲ برابـر دامنه M2 و پریود کشند ۱۴/۸ می‌باشد. اگر عدد کشند بزرگ‌تر یا مسـاوی ۳ باشـد کشـند، از نـوع روزانـه و دامنه‌ی جزر و مدی، ۲ برابر دامنه‌یK1 و پریود کشند ۱۳/۷ می‌باشد. اگـر عـدد کشـند کوچـک‌تـر از ۱/۵ و بزرگ‌تر از ۰/۲۵ باشد، کشند از نوع ترکیبی و دامنـه‌ی جزر و مدی ۲ برابر مجمـوع دامنـه S2, M2 و پریـود جزر و مدی برابر با ۱۲/۴۲ می‌باشد. و اگر عدد کشـند بزرگ‌تر از ۱/۵ و کوچک‌تر از ۳ باشد، کشـند ترکیبـی روزانه و دامنه‌ی جزر ومدی، ۲ برابر مجموع K1,O1 و پریـود ۲۳/۹۳ مـی‌باشـد[7]. بـه کمـک رابطـه‌ی زیـر کم‌ترین مربعات و واریانس محاسبه می‌گردد:

$$rms = \sqrt{\frac{h - ho}{n}} \qquad (۱٤)$$

کـه در آن، h؛ تـراز آب مشـاهده شـده، ho؛ تـراز آب محاسـبه شـده و n؛ طـول بـردار داده‌هـای تـراز آب می‌باشد. در مرحله‌ی دوم با استفاده از داده هـای روز اول و روابط ریاضی آهنگ داده برداری، سال شـروع داده‌ها محاسبه می‌شود. بـا اسـتفاده از ایـن اطلاعـات، زوایه‌ی ساعتی از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$Q = 259.16 - 19.3282*(Y - 1900) - 0.053*D \qquad (۱۵)$$

کـه در آن، D؛ روز اول داده بـرداری و Y؛ سـال نمونه برداری می‌باشد.

مطالعه موردی

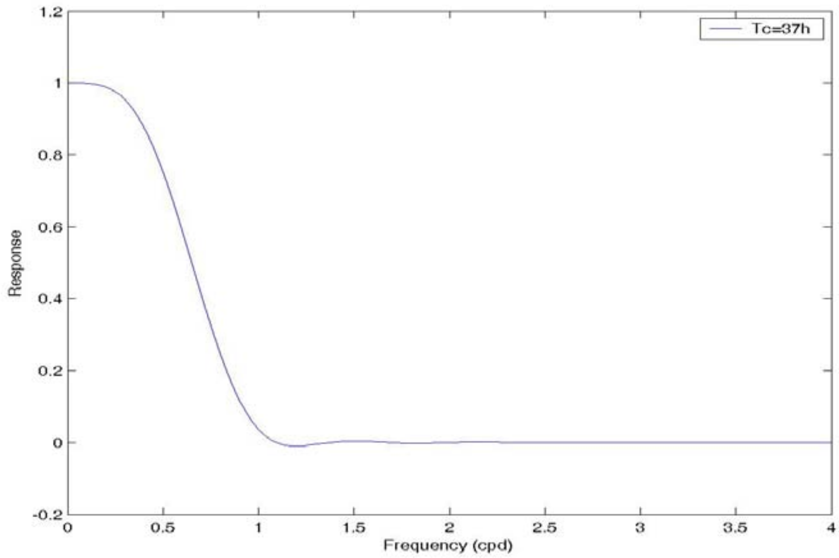
در این تحقیق، ابتدا در یک کار میدانی نوسانات تـراز سطح آب خلیج فارس در سواحل بنـدر عبـاس بـرای مدت ۲۹ روز برداشت گردیـد. بـرای ثبـت اطلاعـات، دستگاه اندازه‌گیر موج و جزر و مـد Wave and Tide Recorder از نوع WTR9 استفاده گردید. کـاربرد ایـن دستگاه اندازه‌گیری دامنه‌ی موج، تراز سطح آب و دما در آب‌های کم عمق می‌باشد. این دسـتگاه قـادر اسـت ارتفاع موج مشخصه تا ۲۰ متر و موج مـاکزیمم تـا ۲۵ متر را با دقت ۲ تا ۲/۵ سانتی‌متر در عمق تا ٦۰ متر بـا فرکانس ۱ و ۲ هرتز اندازه گیری نماید. داده های ثبـت شده به فرمت ورودی این نـرم افـزار در محـیط excel ذخیره شده اند. جدول (۲)، نمونه ای از این داده ها را نشان می‌دهد.

جدول ۲ نمونه ای از داده های ساعتی سطح تراز آب اندازه‌گیری شده در خلیج فارس

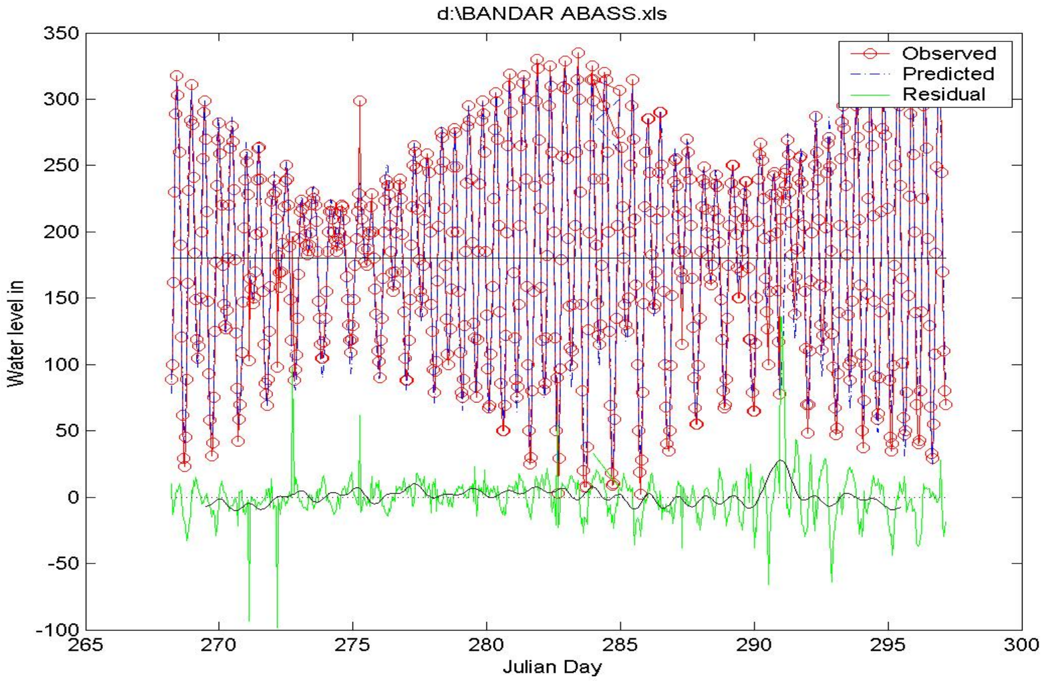
Station	Date	Time	WL (m)
8638863	7/31/2002	19:00	0.425
8638863	7/31/2002	20:00	0.429
8638863	7/31/2002	21:00	0.487
8638863	7/31/2002	22.00	0.62
8638863	7/31/2002	23.00	0.736
8638863	8/1/2002	0.00	0.866
8638863	8/1/2002	1.00	0.9
8638863	8/1/2002	2.00	0.872

زمان محلی(Local Time) زمانی در نظر گرفتـه شـده که در هنگام ظهر، خورشید از بالای نصف النهار محلی عبور می‌کند. مبنای زمان استاندارد (Standard Time) عبور خورشید از بالای نصف النهـار اسـتاندارد اسـت. زمان محلی بر اساس شاخص‌هایی تعیین می‌شـود کـه آن شاخص‌ها، خود بر مبنای موقعیت مجازی یا واقعی خورشید درآن محل تعیین می‌شـوند. زمـان محلـی تـا چند دهـه پـیش در تحقیقـات مختلـف مـورد اسـتفاده قرارگرفته است؛ اما در سال‌های اخیر، استفاده از زمـان محلی به طور عملی منسـوخ شـده و بـرای همـاهنگی تحقیقات مختلف، به طـور قـراردادی زمـان اسـتاندارد مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این تحقیق نیز از زمـان استاندارد، استفاده شد. بـا اسـتفاده از فرمـول زوایـه‌ی سـاعتی و روش کـم‌تـرین مربعـات، اطلاعـات چهـار مؤلفه‌ی، اصلی جزر و مدی، توسط برنامه محاسبه شده است. آنالیز داده های ساعتی سطح دریا شامل حذف سیگنال‌های متعلق به جزر و مد می‌شود. انجام این کار، توسط برنامه با دقت خوبی انجـام مـی‌گـردد. تعـداد ٤ مؤلفه‌ی مهم جزر و مدی، شـامل: M2,S2,K1,O1 کـه در نوسانات سطح آب دریا شرکت دارند، از داده هـای مشاهده شـده بـه وسـیله‌ی فیلتـر پـایین گـذر FIR بـا فرکانس قطع ٣٦ کیلو هرتز که در برنامه برای شـرایط خلیج فارس تعریف گردیده اسـت، حـذف مـی‌شـوند. پهنای فرکانس باند اصلی،٣٦ ساعت در نظر گرفته شده است (شکل ٢).

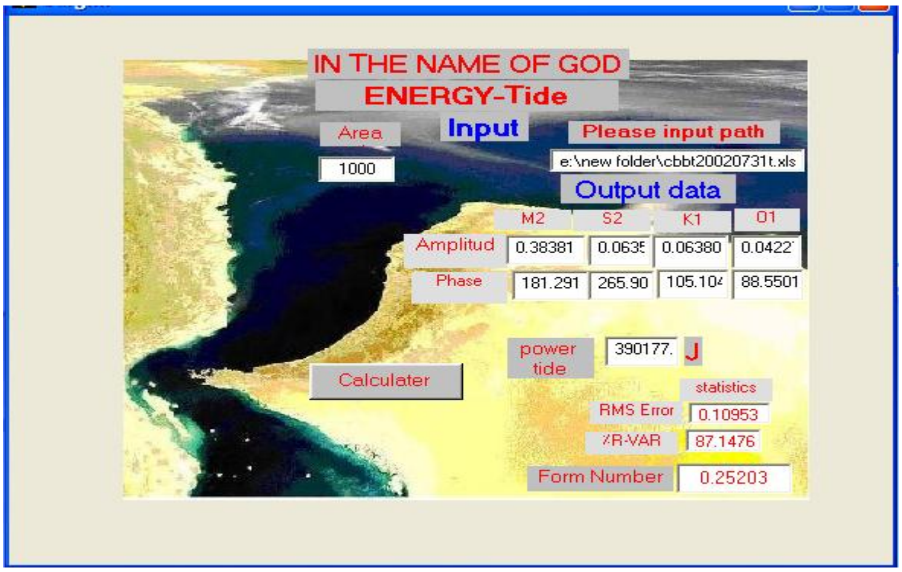
نمودار جزر و مدی مربوط به این مؤلفه‌ها رسم شده و از داده‌های دسـتگاه‌هـای جـزر و مدسـنج کـم می‌گردند تا باقی‌مانده (Residual) حاصل گردد. این سـیگنال، دارای خصوصـیت تصـادفی بـوده و نشـان دهنده‌ی اثرات اقلیمی است. مثلاً نوسانات بـاقی‌مانـده، می‌تواند به علت تاثیر عوامل غیر جزر و مدی، نظیر باد و طوفان باشد (شکل ٣).



شکل٢ پاسخ فرکانسی برای فیلتر پایین گذر ٣٦ کیلوهرتز



شکل۳ نمودار سطح تراز آب شامل تراز آب، ثبت شده، تراز جزر و مد محاسبه شده و در پایین سیگنال باقی‌مانده



شکل ٤ صفحه‌ی اول مدل عددی طراحی شده‌ی محاسبه‌ی توان جزرو مد

در این نمودار، سه سیگنال نشان داده شده است. خط دایره دار؛ نشان دهنده‌ی سطح تراز آب مشاهده شده، خط چین، نشان دهنده‌ی نوسانات جزر و مدی محاسبه شده، و دو خط ممتد پایین؛ نشان دهنده‌ی نوسانات غیر جزر و مدی محاسبه شده و حالت هموار شده‌ی آن است. چنانچه در نمودار نوسانات غیر جزر و مدی، پیکی غیر نرمال مشاهده شود می‌تواند به علت عوامل جوی باشد. با استفاده از سیگنال باقی‌مانده

می‌توان به نیروهای نوسانی در دریا که برای ناوبری و طراحی سازه‌های دریایی و مدیریت سواحل و بنادر بسیار با اهمیت هستند، دسترسی پیدا کرد. سپس با استفاده از روش حداقل مربعات، اطلاعات چهار مؤلفه‌ی اصلی جزر و مدی را از داده‌های سطح تراز آب محاسبه کرده و با استفاده از روابط ارائه شده‌ی عدد کشند و در نهایت برای محاسبه‌ی توان جزر و مدی با توجه به محدوده‌ی عدد کشند نوع کشند، شناسایی شده و سپس پریود کشند، محاسبه می‌گردد. در این مرحله به کمک اطلاعات به دست آمده، توان جزر و مد، محاسبه می‌گردد. به طور مثال با فرض این که مساحت ۱۰۰۰ متر مربع باشد خروجی برنامه شامل اطلاعات دامنه‌ی چهار مؤلفه‌ی اصلی K1= 0.063803 و S2= 0.063529 و M2=0.38381 و O1= 0.042279 بوده و عدد کشند نیز برابر ۰/۲۵۲۰۳ محاسبه می‌گردد. در نتیجه، طبق روابط بالا، کشند نیم‌روزه است و میانگین ارتفاع جزر و مد دو برابر دامنه‌ی M2 و پریود جزر و مد ۱۴/۸ روز می‌باشد؛ لذا برای این حوضه توان جزر و مدی، حدود ۳۹۰ کیلو وات به دست می‌آید.

شکل (٤)، نمایی از صفحه‌ی اول نرم افزار طراحی شده را نشان می‌دهد.

بحث و نتیجه‌گیری

مدلی عددی تهیه شد که در آن با کمک یک فیلتر FIR پایین گذر و با استفاده از داده های میدانی، می‌توان اطلاعات مفیدی در رابطه با امواج جزرو مدی و غیرجزر و مدی در آن منطقه به دست آورد. پارامترهای ورودی به مدل، شامل فایل داده‌های ثبت شده‌ی سطح تراز آب به فرمت Excel و مساحت حوزه‌ی جزر و مد است. پارامترهای خروجی، شامل دامنه و فاز مؤلفه‌های اصلی جزر و مد، عدد کشند، کمیت های آماری (خطای کم‌ترین مربعات و واریانس)، توان جزر و مدی، نمودار سطح تراز آب به همراه سیگنال باقی‌مانده و نمودار پاسخ فرکانسی است. محاسبات نرم‌افزار با انتخاب کاربر، می‌تواند در دستگاه MKS، FSS یا FPS انجام گیرد. نرم افزار، دارای فایل گرافیکی قوی بوده که قادر است نمودار سطح تراز آب را رسم نماید. با استفاده از این مدل و انتخاب حد مناسب پایین گذری می‌توان در هر نقطه‌ای از آب‌های دنیا و بخصوص آبهای ایران و حتی رودخانه‌های منتهی به دریا، توان جزر و مدی را محاسبه کرد؛ در صورتی که این توان قابل توجه باشد، می‌توان نصب دستگاه‌های جذب انرژی جزر و مد را در آن ناحیه مد نظر قرار داد.

مراجع

1. Thorpe, T.W., " A Brief Review of Wave Energy", A report produced for The UK Department of Trade and Industry, (1999).
2. Forman, M.G.G, " Manual for tidal heights analysis and prediction", *pacific marine science*, pp. 10-77, (1996).
3. Godin, G., " *The analysis of tides*", University of Torento press, (1973).
4. Forman, M.G.G, "Manual for tidal currents analysis and prediction", *pacific marine science report*, (1998).
5. Brook, D. and Wynne, R.J.,"*Signal Processing Principles and Applications*", Edward Arnold, (1988).

6. Oppenheim, A.V. and Willsky, A.S., "*Signals and systems*" 2nd Ed. Edward Arnold Pub. Co., London, (1996).

7. Kowalik, Z.,"Tide distribution and tapping into tidal energy", *OCEANOLOGIA*, 46 (3), pp. 291-331, (2004).